

石灰石骨材を用いたRC・PCはりのせん断性状

茨城大学工学部 正会員 ○木村 亨
茨城大学工学部 正会員 福澤 公夫
茨城大学工学部 正会員 福田 友晴
太平洋セメント(株) 正会員 肥後 康秀

1. はじめに

石灰石は、骨材自体の強度は低いものの、石灰石砕石を用いたコンクリートは、硬質砂岩砕石を用いたコンクリートと比較して、圧縮、引張および曲げ強度は同等か同等以上、乾燥収縮は硬質砂岩砕石を用いた場合よりも小さいという報告がある¹⁾。

最近、石灰石骨材の使用が増加しているが、石灰石骨材を用いたコンクリート構造体の性能を確認した報告は少ない。RC・PCはりがせん断を受ける場合の性状に関する基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

実験の要因と水準を表1に、使用材料、コンクリートの配合は、本年次投稿の「石灰石骨材を用いたRC・PCはりの曲げ性状」を参照して頂きたい。コンクリートは、骨材を硬質砂岩細骨材と粗骨材とするSS、硬質砂岩細骨材と石灰石粗骨材とするSL、石灰石細骨材と粗骨材とするLLの3種類とし、補強材量、補強方法を変化させ、せん断力の影響が卓越する状態で試験を行った。

試験体諸元を表2に示す。はりは、両端で支え(距離1800mm)、中央2点(距離500mm)で載荷した。RCの場合でa/dを2.6とし、PCの場合も同じ載荷方法とした。

3. せん断耐力の算定式

せん断によるひび割れ荷重、終局荷重との比較には以下の部材せん断耐力を求める式を用いた。なお、プレストレスの影響としては、引張縁のコンクリートの応力がゼロとなるまでの荷重を加えた。

$$V = V_c + (V_0) + V_s \quad \dots \dots \text{式(1)}$$

$$V_c = \beta_d \beta_p \beta_n f_{wc} b d \quad \dots \dots \text{式(2)}$$

ここに、 $\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$ / $\beta_p = \sqrt[3]{100p_w}$ / $\beta_n = 1$ / $f_{wc} = 0.20 \sqrt[3]{f'_c}$

/ f'_c : 圧縮強度(N/mm²) / p_w : ($=A_s/bd$) / b : 断面幅(mm)

/ d : 有効高さ(mm) / A_s : 鉄筋断面積(mm²)

V_0 : デコンプレッション時のコンクリートせん断力

$$V_s = A_w f_{wy} (\sin \alpha + \cos \alpha) z / s \quad \dots \dots \text{式(3)}$$

ここに、 A_w : せん断補強筋断面積(mm²) / $\alpha = 90^\circ$ (鉛直スターラップ) / f_{wy} : せん断補強筋降伏点(N/mm²) / s : 補強筋間隔(mm) / $z = jd = d/1.15$

4. 試験結果および考察

4.1 ひび割れ状況

試験結果一覧を表3に示す。図1に試験体破壊時のひび割れ発生状況の一例を示す。なお、骨材間の差は小さいので、配合SLのひび割れ図とした。

図の青の部分はせん断補強筋なしの区間である。RC試験体でせん断補強筋無しの場合(Q-RC-1)、せん断スパン内に明瞭な斜めひび割れが生じ、さらに荷

表1 要因と水準

要因	水準
配合(骨材の種類)	SS:普通細骨材+普通粗骨材 SL:普通細骨材+石灰石粗骨材 LL:石灰石細骨材+石灰石粗骨材
構造	RC、PC
せん断補強筋有無	なし、あり

※a/d=1.8の配合「SL」かつ「せん断補強筋なし」の条件のみ1種類のはりの寸法でも実施

表2 試験体緒元

試験体	はりの寸法			有効高さ d (mm)	軸方向補強材	条件			a/d
	全長 L (mm)	幅 b (mm)	高さ h (mm)			初期プレストレス*)	鉄筋比	せん断補強筋ピッチ	
Q-PC-1	2300	200	300	200	φ29C種1号	15.0 (Mpa)	-	なし※※)	2.6
Q-PC-2				200				150mm	
Q-RC-1				250	SD345	-	0.026	なし※※)	
Q-RC-2				250	D29×2			150mm	

※)初期プレストレスはコンクリート下縁応力、※※)片側にのみせん断補強筋を配置

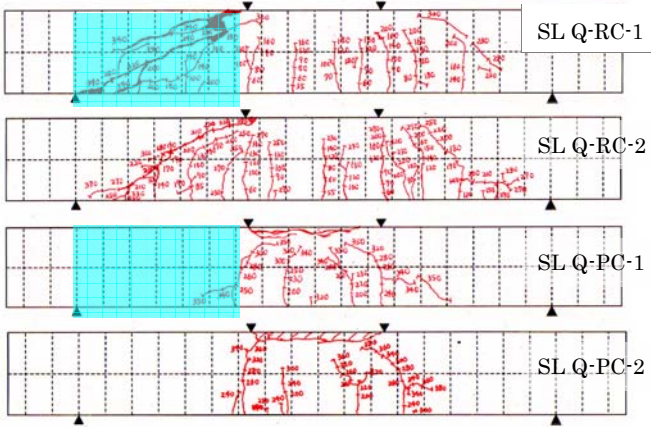


図1 SL ひび割れ図

重が増加した後、圧縮部コンクリートが破壊した。せん断補強筋を配筋した場合(Q-RC-2)も同様であるが、破壊時のひび割れ荷重は、せん断補強筋のない場合より大きかった。PC試験体の場合は、せん断補強筋のある場合は、せん断スパンにひび割れが生じなかった。せん断補強筋のない場合は、せん断ひび割れが観察された。

3.2 斜めひび割れ発生荷重の検討

図2は、載荷点と支持点を結ぶ直線上ではりの高さ中央に貼付したゲージについて、荷重と主応力ひずみの関係を示す。使用する骨材に関係なく、実測値と計算値とは立ち上がりの部分ではほぼ一致していることが分かる。

表3には、図2のひずみの変化点から求めたひび割れ荷重 $P_{cr}(gage)$ と、肉眼観察から求めたひび割れ荷重 $P_{cr}(obs)$ が記載されている。 $P_{cr}(gage)$ と計算値(式(1))との比は、0.64~1.18 であり、 $P_{cr}(obs)$ と計算値との比は、1.14~1.45 である。

3.3 終局荷重の検討

図3に Q-RC-2 の場合の荷重とせん断補強筋ひずみの関係を示す。計算値はトラス理論に基づく値である。図より骨材の差による影響は小さいこと、また、計算値と実測値は良く一致していることが分かる。PC試験体の場合は、せん断補強筋の引張ひずみは生じず、むしろ荷重の増加とともに圧縮に転じた。

表3には、終局荷重の実測値、式(1)~式(3)による計算値および両者の比が示されている。

終局荷重の実測値と計算値の比は、試験体の構造によって異なった。せん断補強筋を有しない RC 試験体(Q-RC-1)の場合、実測値/計算値は、2.37~2.69 と実測値が計算値よりも著しく大きい。斜めひび割れ発生後も引張主鉄筋のダウエル効果等が寄与した

ものと思われる。せん断補強筋を有する RC 試験体(Q-PC-2)の場合、実測値/計算値は 1.28~1.31 であり、実測値と計算値は、ほぼ一致する。この場合、終局荷重をせん断補強筋が降伏するときとして、図3から求めた値は、実測値とほぼ一致した。

Q-PC-1, 2 の場合実測値/計算値は、RC 試験体の場合より 1 に近いが、破壊が曲げにより生じたための結果と考えられる。式(1)~式(3)で求まる終局荷重は確保できることが分かる。

4. まとめ

本研究によって、せん断を受ける場合も、荷重と主鉄筋ひずみ関係、斜めひび割れ発生荷重、荷重とせん断補強筋ひずみ関係、終局荷重、ひび割れ状態から判断して骨材の種類による影響は見られない。

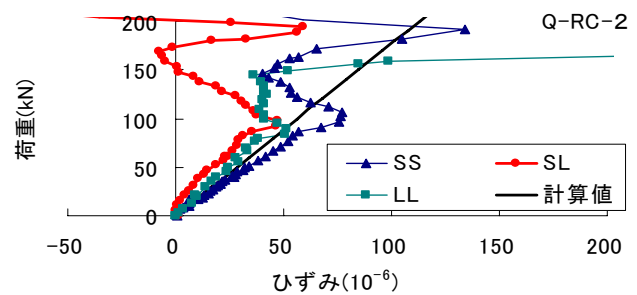


図2 荷重とせん断補強筋ひずみ関係 (RC 試験体)

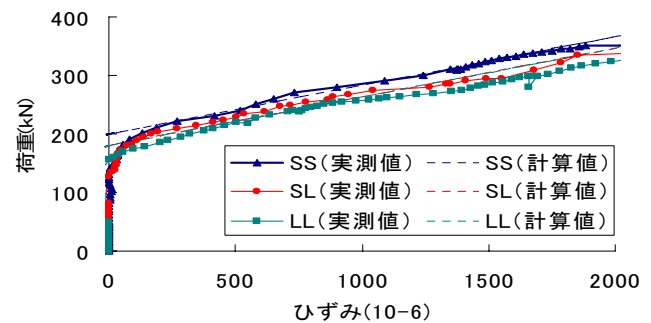


図3 荷重とせん断補強筋ひずみ関係 (PC 試験体)

表3 試験結果一覧

部材	種類	圧縮強度 (N/mm ²)	斜めひび割れ発生荷重 P'_{cr} (kN)					終局荷重 P_u (kN)				
			P_{cr} (gage)	P_{cr} (obs)	計算値 $P_{cr}(cal)$	$P_{cr}(gage)$ $P_{cr}(cal)$	$P_{cr}(obs)$ $P_{cr}(cal)$	実測値 $P_u(exp)$	計算値① $V_c+(V_0)$	計算値② $V_c+(V_0)+V_s$	$\frac{P_u(exp)}{V_c+(V_0)}$	$\frac{P_u(exp)}{(V_c+(V_0)+V_s)}$
Q-RC-1※	SS	44.9	100	180	137.7	0.73	1.31	326	138	—	2.37	—
	SL	47.8	100	160	140.6	0.71	1.14	338	141	—	2.40	—
	LL	40.8	105	160	135.0	0.78	1.19	359	133	—	2.69	—
Q-RC-2	SS	44.9	105	200	137.7	0.76	1.45	373	—	285	—	1.31
	SL	47.8	90	180	140.6	0.64	1.28	370	—	287	—	1.29
	LL	40.8	120	180	135.0	0.89	1.33	359	—	280	—	1.28
Q-PC-1※	SS	44.9	310	380	277.8	1.12	1.37	390	278	—	1.40	—
	SL	47.8	330	340	279.7	1.18	1.22	370	280	—	1.32	—
	LL	40.8	320	320	274.3	1.17	1.17	355	274	—	1.29	—
Q-PC-2	SS	44.9	—	—	—	—	—	377	—	395	—	0.95
	SL	47.8	350	—	—	—	—	394	—	397	—	0.99
	LL	40.8	—	—	—	—	—	377	—	392	—	0.96

※:片側にせん断補強筋のないもの

参考文献

- 小島明他：石灰石砕石を用いたコンクリートの強度特性、コンクリート工学年次論文集、vol. 26, No. 1, 2004 pp93-98